メンテナンスのお問い合わせは…

大阪…TEL.072-966-9601
東京…TEL.03-5250-0760

➡お問い合わせの際は、機種の製造番号を必ずお知らせください。

新関東サービスセンター
中四国サービスセンター
九州サービスセンター

●なおサービスの内容や製品についてのご質問は、大阪または東京の営業担当者にお問い合わせください。

最新のプレートテクノロジーを世界に発信するHISAKA

株式会社 日阪製作所 熱交換器事業本部

営業部
大阪営業課：〒578-0973 東大阪市東鴻池町2丁目1番48号
TEL.072-966-9601（代） FAX.072-966-9602
東京営業課：〒104-0031 東京都中央区京橋1丁目19番8号（京橋OMビル）
TEL.03-5250-0760（代） FAX.03-3562-2759

URL：http://www.hisaka.co.jp/phe/

株式会社 日阪製作所 熱交換器事業本部はプレート式熱交換器をはじめとする全ての製品を対象にして品質マネジメントシステムに関するISO9001の認証取得をしています。

株式会社 日阪製作所は環境マネジメントシステムに関するISO14001の認証取得をしています。

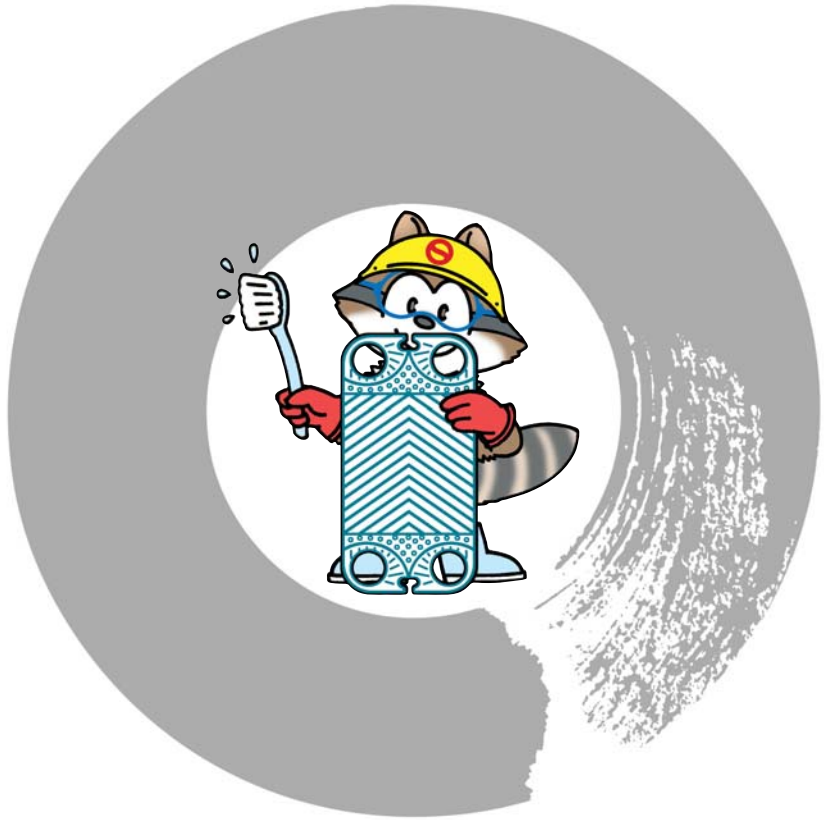
本文書の無断転用・無断転載・無断複製・無断改変を禁止します。また、カタログに掲載の外観・仕様等は改良のため予告なく変更することがあります。

代理店

HE-MJ000304
13.06.400.SAN

Plate Heat Exchanger MAINTENANCE GUIDE

日阪プレート式熱交換器 メンテナンスガイド



HISAKA

ごあいさつ

日頃は、日阪プレート式熱交換器をご利用いただき、誠にありがとうございます。

日阪プレート式熱交換器は、高性能でトラブルの少ない機械ですが、最適なメンテナンスを施すことでさらに信頼性が向上し、より長期にわたってご使用いただけるようになります。

この小冊子は、日阪製作所が国産唯一のプレート式熱交換器メーカーとして蓄積したノウハウを生かし、メンテナンスに関する情報をまとめたものです。プレート式熱交換器のトラブル回避、生産性向上に、ぜひお役立てください。

株式会社 日阪製作所
熱交換器事業本部 カスタマーサポート

C O N T E N T S
目次

1—プレート式熱交換器の構造 ……●4
2—メンテナンスの必要性 ……●6
■性能低下 ……●7
3—メンテナンスの概要 ……●8
■交換部品 ……●8
■ガスケットの劣化 ……●12
■洗浄方法 ……●14
4—メンテナンスサービスのご案内 ……●16
■「まるごとぱっく」 ……●16
■その他のサービス ……●17
5—トラブルの種類 ……●18
5-1スケールの付着 ……●18
■ランゲリア飽和指数とスケーリング ……●18
■海水利用による海洋微生物の付着……●20
■海水防塵処理設備機器 ……●22
5-2プレート腐食 ……●24
■全面腐食 ……●24
■孔食 ……●25
■隙間腐食 ……●27
■エロージョン・コロージョン……●29
■応力腐食割れ ……●30
5-3その他のトラブル ……●32
■疲労割れ ……●32
■プレート変形 ……●33
6—点検作業のポイント ……●34
7—熱交換器を長期にご使用いただくために……●35

1—プレート式熱交換器の構造

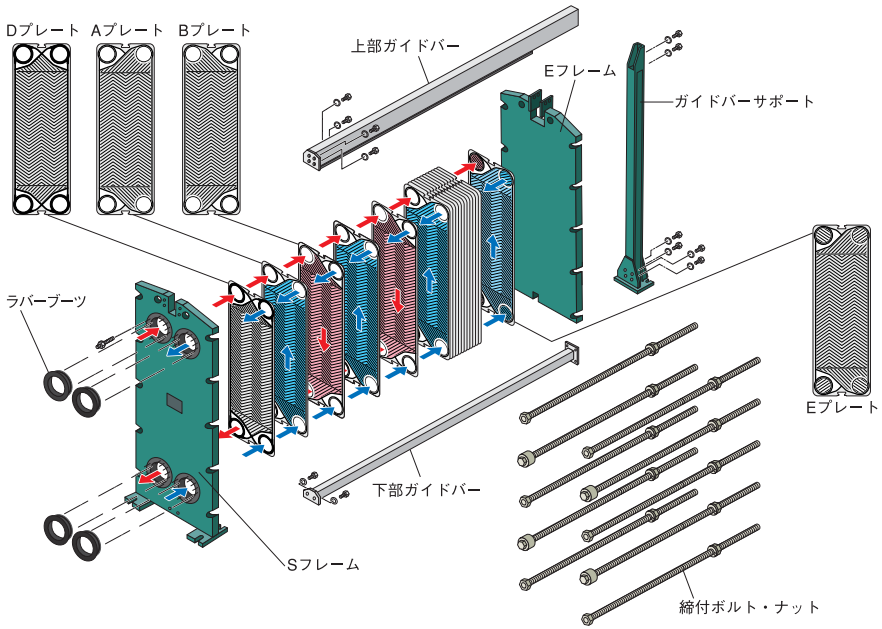
日阪プレート式熱交換器は、昭和28年の商品化以来、「高性能」「軽量・コンパクト」「省エネ」「メンテナンス性」が高く評価され、化学、空調、食品、電力、造船、鉄鋼、半導体、環境など、様々な業界で採用されています。

基本構造

ステンレス、チタニウムなどの耐食性金属の薄板をプレス成形したものを伝熱プレートといい、その周辺を合成ゴムのガスケットでシールしたものをプレートエレメントといいます。プレート式熱交換器は、プレートエレメントを必要枚数ガイドバーに懸垂させ、鋼板製の固定フレームと移動フレームの間に重ね合わせて、ボルトで締め付けたもの。プレートエレメントは40種類以上におよび、それぞれのプロセスで最高の性能を発揮できるよう精密に設計されています。

伝熱プレート、ガスケットはいずれも精度の高い成形品であり、均一の厚みに締め付けることで、高いシール性を発揮、維持します。

プレート式熱交換器構造図



締め付け寸法

固定、移動フレーム間の寸法を締め付け寸法といい、ガスケットの増し締め代を含んだMAX寸法から、プレート同士が接触するMIN寸法の間で管理します。締め付け寸法は、図面および本体銘板に記載されています。

製造番号

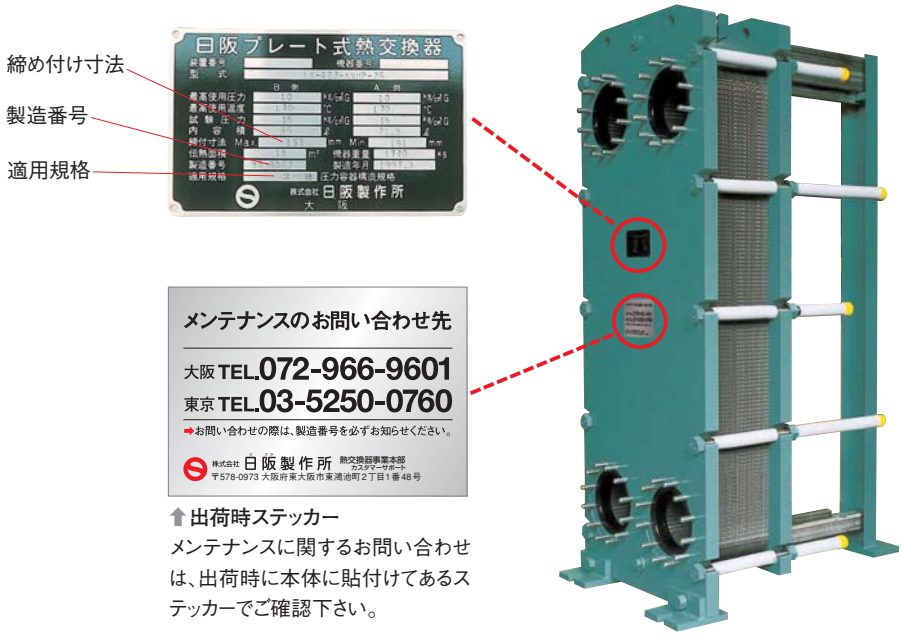
メンテナンスについてお問い合わせの際は、弊社の製造番号をお知らせください。製造番号だけで、構造部品のすべてがわかります。製造番号は、図面および本体銘板に記載さ

⬆Eフレームの外側に貼付けてあります。

⬆Eフレームの外側及び梱包箱に貼付けてあります。

⬆Eフレームの内側に貼付けてあります。

⬆取扱説明書が入っている箱に貼付けてあります。

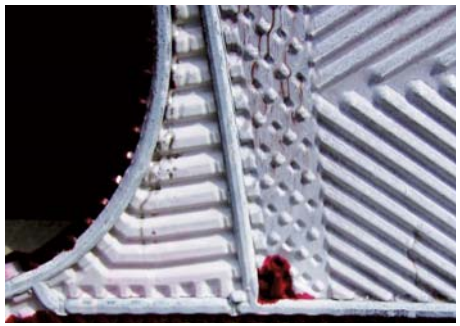


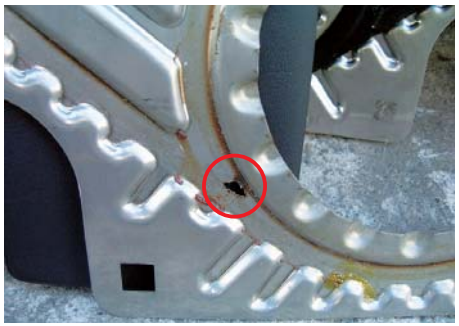
⬆出荷時ステッカー

メンテナンスに関するお問い合わせは、出荷時に本体に貼付けてあるステッカーでご確認下さい。

2—メンテナンスの必要性

プレート式熱交換器は可動部がなく、構成部品が少ない、故障やトラブルが少ない機器です。しかし長期間のご使用によりガスケットの劣化、プレートへの水あか・汚れの付着、腐食や割れなどが発生することがあります。そのまま放置しておくと、性能低下、2液混合、液漏れなどのトラブルをおこし、機器の停止、ひいてはプラントの操業停止といった事態を引きおこしかねません。こうした事態を未然に防ぐためには、定期的にプレートを開放し、点検、洗浄することが必要です。

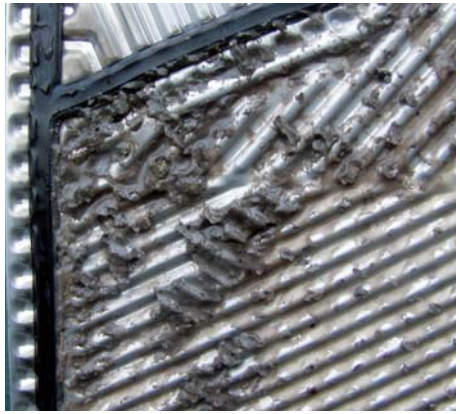




⬆目視で確認された伝面部の貫通割れ（上）
浸透探傷試験で発見された貫通割れ（下）

⬆ガスケット交換を行わないまま放置された熱交換器（上）、ガスケットラインで発生した隙間腐食（下）

プレート式熱交換器の性能低下や液漏れの原因の主なものとして、長期間のご使用による熱交換器内部へのスケールの付着、およびガスケットの劣化が上げられます。スケールの付着に対しては、伝熱性能の低下状態を把握しての定期的な開放・洗浄をおすすめします。

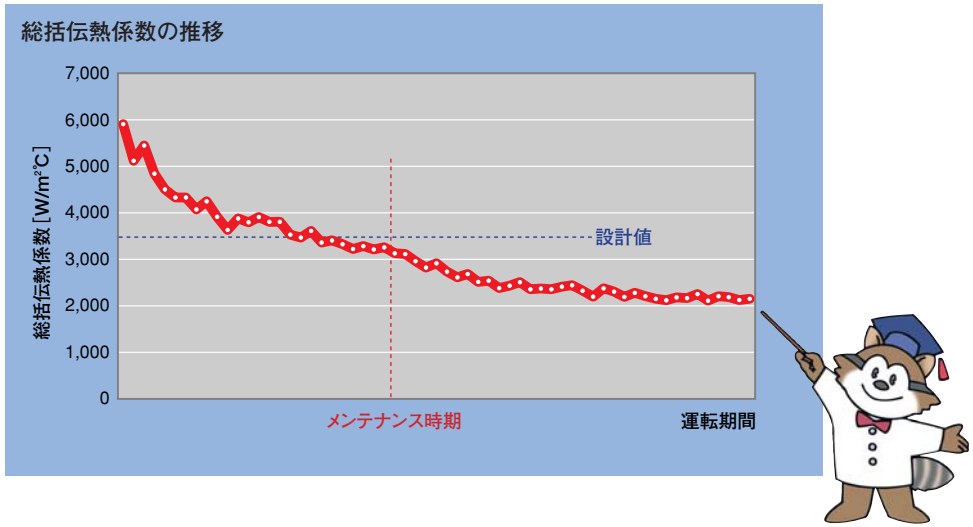


⬆プレート表面に堆積したスケール

■性能低下

熱交換器を長期間使用すると、内部にスケールが付着し、時間経過とともに総括伝熱係数が低下します。定期的に開放し、洗浄することで初期の性能を回復します。

⬆プレート内部で固化したハードスケール



3—メンテナンスの概要

プレート式熱交換器のメンテナンスは、部品交換とプレート洗浄に大別されます。交換部品には、ガスケット、プレート、フレームがあり、プレート洗浄方法には、機械的洗浄と化学的洗浄があります。

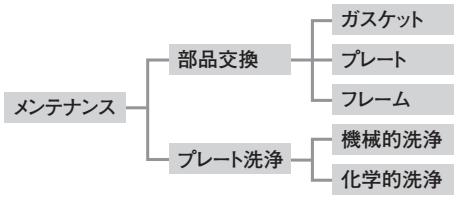
■交換部品

<ガスケット>

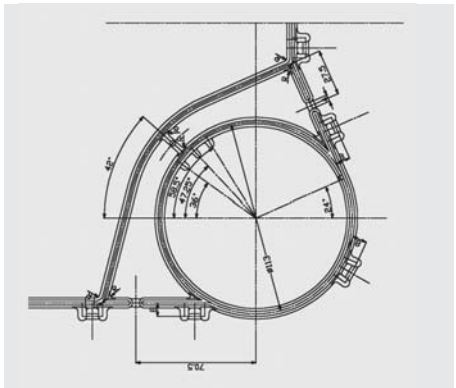
ガスケットは、日阪製作所の長年にわたる研究と経験、検証と実績によってその信頼性が裏付けられています。一見単純に見えるガスケットですが、断面の形状、厚み、幅、突起の数や位置など、そのひとつひとつに工夫があり、シートガスケットから打ち抜くフランジなどの配管ガスケットとは比較になりません。

商品として提供する合成ゴムコンパウンドの選択にあたっては、価格、耐薬品性、耐熱性、耐割れ性などを徹底検証。幾千にものぼる配合のなかから、これらの評価因子を最高レベルで満足するものを選択します。さらに数々の耐久試験を経て最終決定し、シュリンク(仕上がり寸法に対する縮み代)を考慮した精密な金型で加硫、型加工します。

ガスケットは、プレート式熱交換器のメンテナンスにおける、唯一の消耗品です。ガスケットにはロット番号が刻印され、製造年月日、製造した金型、材質などが判別できます。材質に関しては、一見して判別できるように、カラーマーキングを施しています。



⬆ロットNO.の刻印と黄色いマーキングで、NBRであることが確認できます。



⬆ガスケットは精密な設計に基づき製作されています。

ガスケットの材質表示記号および色調の一覧表

材質 略語	材質 記号	色調	正式名
NBR	H	黄1点	Nitrile-butadience rubber
G-NBR	NBR	黄1点	
	NBR	黄2点	
	NBR	黄1、緑1	
食品NBR	HF	桃1点	Food approved NBR
	NBR	黄2点	
EPDM	NE	桃2点	Ethylene-propylene Diene-Methylene Linkage
	YE	桃2点	
	E	桃2点	
	EE	桃2点	
	E	緑1点	
G-EPDM	EPDM	桃2点	
	E	桃2点	
食品EPDM	NE	桃2点	Food approved EPDM
	EPDM	桃2点	
R-EPDM	ER	緑2点	High temperature EPDM
IIR	V	青1点	Chloro-isobuthene-isoprene rubber
G-IIR	IIR	赤2点	Butyl (isobuthene-isoprene)rubber
N-IIR	T	茶1点	
FPM	FV	なし	Fluorinated rubber
R-FPM	RV	白1点	
G-FPM	FPM	紫1点	
	FPM	紫1、白1	
	FPM	紫4点	
Si	SS	なし	Silicone rubber

本記号及び色調表示は2005年4月現在のものです。本一覧表に掲載のないものについては別途お問い合わせください。

ガスケット交換は下記のインターバルを目安にお願いします。

使用温度	ガスケット交換の目安
100℃以上	1年～3年
30℃以上100℃未満	5～7年
30℃以下	7～10年以内

その他の条件として、第一種圧力容器、高圧ガス保安法などの適用法規がある場合は法令に従い分解点検を行ってください。ガスケットの再使用判定は別頁参照してください。流体に対するガスケットの耐食性も考慮し、総合的に交換時期を設定してください。

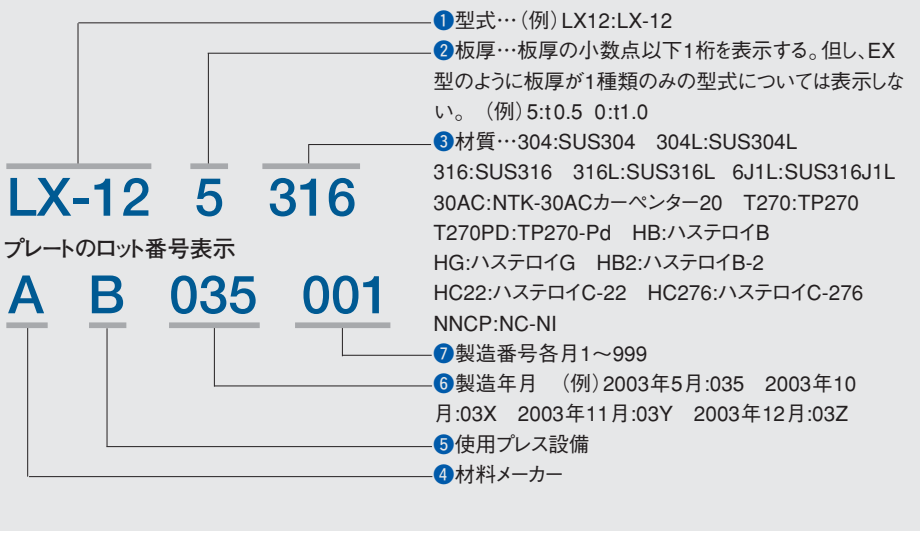
<プレート>

伝熱プレートは、世界でも類を見ない4万トンプレス機をはじめとする、日阪製作所のプレス設備で成形されます。プレートを成形する金型は、常に最適な状態で伝熱プレートを製作するために、数千から数万ショットごとに磨耗、欠損などを検査しています。

プレート式熱交換器に使用されるプレートは、0.5mm～1.0mmという薄板です。この薄板を割れ、くびれなどのプレス欠陥なく成形加工するには、日阪製作所の管理された金型と金型設計技術、プレス成形技術が必要不可欠です。

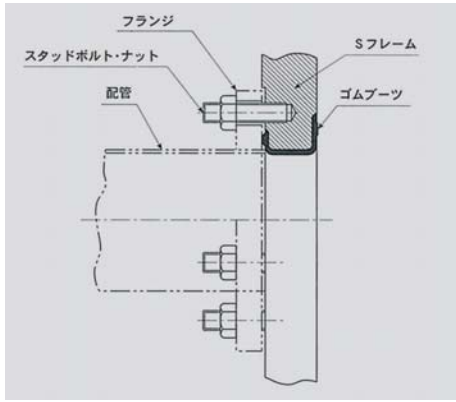
プレートには、ガスケット同様ロット番号が電子マーカーで印字されており、ロット番号からは、板厚、材質が読み取れ、製造年月日、使用した素材のミルシートなどをたどって確認することができます。

⬆プレートのロット表示部分。型式LX-026、S316はSUS316であることを示しています。



<フレーム>

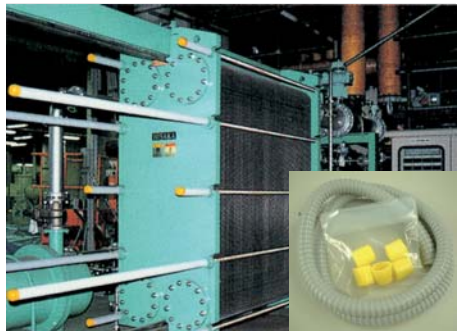
フレームはプレートを均一に締め付けて所定のシール性を維持する耐圧部材です。このため、腐食や劣化があれば定期的な整備や部品交換が必要です。特にフレームの通路孔部には鋼板部材との接液をふせぐためにゴムをライニングしている型式(NJ/NP型)があります。このライニング部はゴムブーツと呼ばれ、劣化があれば交換が必要です。



⬆ゴムブーツタイプの場合は配管用ガスケットは不要です。

<締付ボルト>

締付ボルト・ナットも長期に放置しておくと発錆するので、定期的なグリスアップをおすすめします。また、オプション品としてボルトのネジを保護するボルトカバーも御提供出来ます。



<その他の交替部品>

プレート式熱交換器のプレート及びガスケットは1枚から供給可能です。また、締付ボルト・ナット、ゴムブーツ、専用接着剤などが整備に必要です。

⬆メンテナンス部品

■ガスケットの劣化

ガスケットには高品質の合成ゴムを使用していますが、経年による劣化は避けられません。ヘタリ、亀裂、炭化といったゴム特有の劣化症状は、シール性を損ない、液漏れをおこします。

⬆劣化したガスケット

<ガスケット寿命について>

プレートガスケットには次の様な関係があることが判っています。

(1)圧縮率ε[%]と使用可能圧力P[MPa]

$$P=\alpha\cdot\varepsilon+\beta\cdots\cdots①$$

ここで、α、βは型式によらず一定の定数で圧縮率ε[%]は②式で表せます。

$$\varepsilon[\%]=\frac{(t_0-t)}{t_0}\times100\cdots\cdots②$$

t_0:使用前のガスケットの厚み[mm]

t:締付時のガスケットの厚み[mm]

この関係を利用すれば、使用可能圧力で必要となるガスケット最低厚みt_0[mm]を知ることができます。……(図1)

さらに、

(2)圧縮永久歪みC/S[%]と時間θ[h]

$$C/S=\gamma\cdot\theta^{\zeta}\cdots\cdots③$$

ここで、γ、ζはガスケット材質と温度に依存する固有の定数で圧縮永久歪みを④式で定義します。

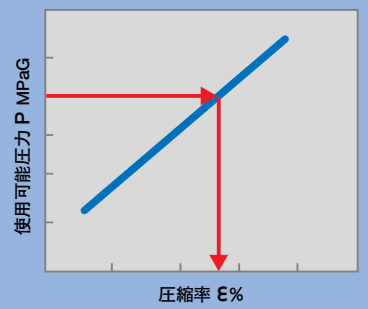
$$C/S[\%]=\frac{(t_0-t_1)}{(t_0-t)}\times100\cdots\cdots④$$

t_1:使用後のガスケットの厚み[mm]

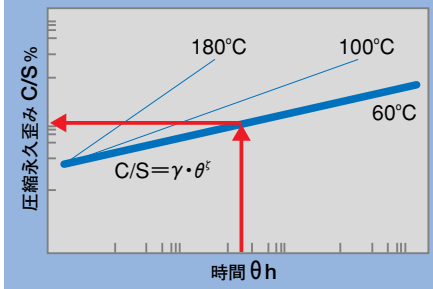
この関係からは、一定時間経過したガスケットのガスケット厚みt_1[mm]を予測することができます。……(図2)

図3は、これらの関係から運転時間と使用可能圧力との関係を示したものです。運転開始よりガスケットの圧縮永久歪が進行し、使用可能圧力が低下し運転圧力のレベルまでこの圧力が低下した時点で初期漏れが発生します。その後増し締めを行うことでガスケットの圧縮率が回復し再び使用可能な状態となりますが、さらに圧縮永久歪が進行すると使用限界に到達しガスケット交換が必要となります。

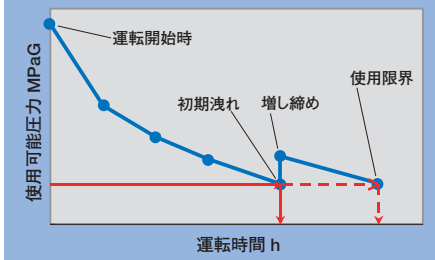
使用圧力と圧縮率(図1)



圧縮永久ひずみと時間の関係(図2)



ガスケット劣化による使用圧力変化(図3)



<ガスケット再使用および交換の目安>

また、前頁(1)の関係を利用すれば、ある一定期間使用したガスケットの厚みを測定することで再使用が可能であるかの判定の目安とすることができます。(判定方法の例)

〈状況〉

❶ガスケットには、外観上発泡、亀裂、粘着、溶解、しわなどの異常は観察されず、分解前に液漏れは無かった。

❷ガスケットを180°折り曲げても亀裂が発生しない。

❸硬度計で硬度を測定したところ80°であった。

❹使用圧力は0.5MPaG、ガスケットの厚みを測定したところ3.1mmであり、締付けはMIN寸法の2.6mm(板厚は含みません)で行う予定。

〈判定〉

❶外観検査…合格

❷折曲試験…合格

❸硬度検査…合格

硬度は65°～93°の範囲内であること。

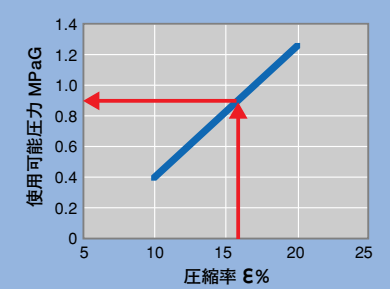
❹使用圧力…合格

式②で求めたε[%]と図4から使用可能圧力を求めます。

$$\varepsilon=\frac{(3.1-2.6)}{3.1}\times100=16.1\%$$

図4より、使用可能圧力0.92[MPa]＞使用圧力0.5[MPa]。これら❶～❹により、このガスケットは再使用が可能と判定できます。

使用可能圧力と圧縮率(図4)



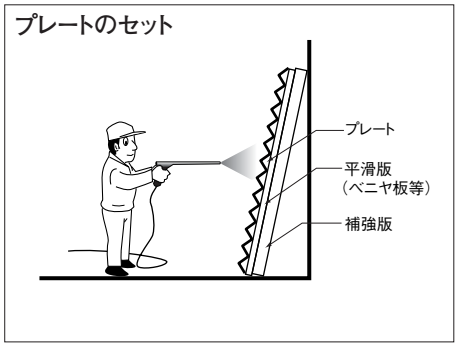
■洗浄方法

＜機械的洗浄＞

開放したプレートからガスケットを取り外し、洗浄用のデッキブラシなどを使用して洗浄するか、ジェット洗浄機を用いて、ジェット洗浄します。プレートの変形やシール面の損傷を防ぐために、平滑板と補強板を重ねたものにセットし、200mm以上の距離でおこなってください。

⬆ジェット洗浄

⬆ブラシ洗浄

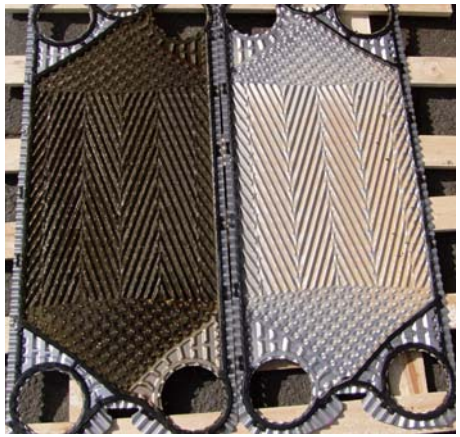


プレートの許容ジェット圧力

プレート板厚 mm	プレート材質	最大ジェット圧力 MPa
0.5	チタニウム	3
0.6	チタニウム	5
0.8	チタニウム	10
1.0	チタニウム	15
0.5	ステンレス	5
0.6	ステンレス	8
0.8	ステンレス	15
1.0	ステンレス	20

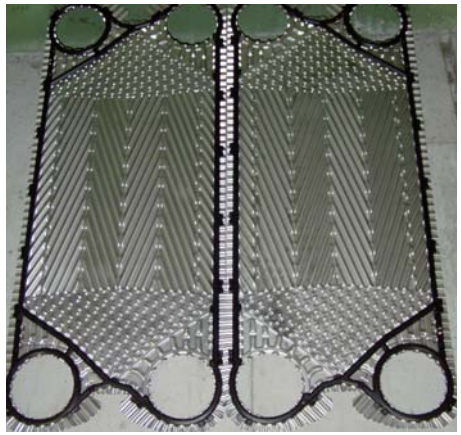
＜化学的洗浄＞

浸漬洗浄…熱交換器を分解後、プレートを薬液槽に浸漬して洗浄する方法もあります。この場合、薬品の温度、濃度や、洗浄時間には十分注意し、プレートが薬液で腐食しないような管理が必要です。



⬆洗浄前のプレート

⬆開放したプレートを薬溶槽に浸漬して強固なスケールを除去します。



⬆洗浄後のプレート

定置洗浄…熱交換器内の液を排出し、温水で通常処理量より多い循環量で予備洗浄をおこなってから薬液（酸、アルカリ）を通液して洗浄をおこないます。洗浄後は十分に水洗いし、器内に薬液が残らないように注意してください。

⬆CIP洗浄装置…キャスター付き簡易移動式の定置洗浄装置（CIP）です。プレート式熱交換器の定置洗浄を行います。

4—メンテナンスサービスのご案内

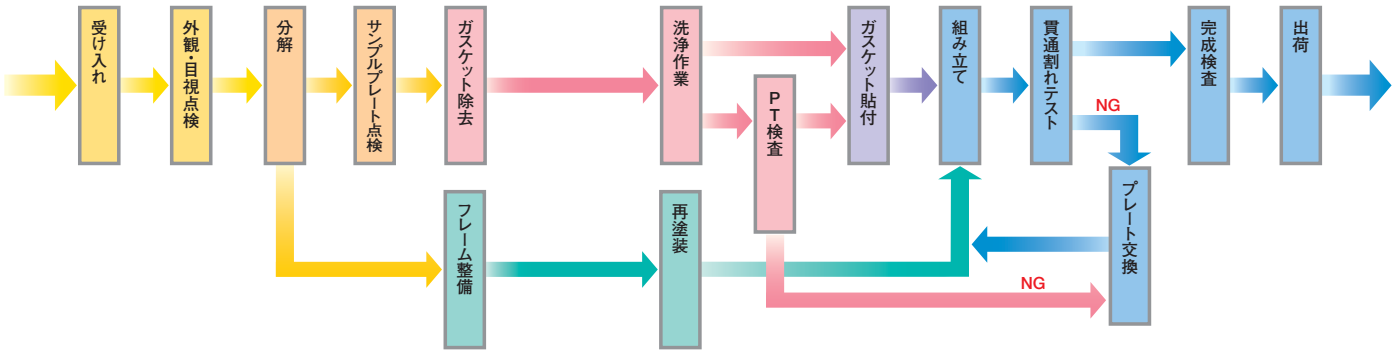
■「まるごとぱっく」

「まるごとぱっく」は、プレート式熱交換器メンテナンスのフルメニューとして提供するサービス。お客様に取り外していただいたプレート式熱交換器一式を、そのまま引き取り、分解、点検、洗浄、ガスケット交換、組立、検査の整備作業一式をおこない、お返しします。

⬆「まるごとぱっく」を完了すると、作業完了を示すステッカーを本体に貼り付けます。整備内容、交換部品の記録は日阪製作所に保管され、次回のメンテナンスに生かされます。

⬆施工前・施工後

「まるごとぱっく」の作業フロー



■その他のサービス

●**プレート洗浄**…「まるごとぱっく」の主要部分である、プレート洗浄作業だけをうけたまわります。

●**メンテナンスパートナー派遣**…メンテナンスパートナーが現地へおうかがいし、お客様のメンテナンス作業をサポートいたします。

⬆メンテナンスパートナー派遣

5―トラブルの種類

プレート式熱交換器のトラブルには、スケールの付着、海水利用による海洋微生物の付着、プレートの腐食、プレートの疲労割れ、プレートの変形などがあります。ここでは代表的な事例を上げ、その原因に対応した最適な対策をご紹介します。

5-1 スケールの付着

プレート式熱交換器の使用用途は幅広く、プレート表面にはさまざまなスケールが付着します。ここでは冷却用途として使用されることが多い工業用水、ならびに海水のスケールについて紹介します。

■ランゲリア飽和指数とスケーリング

水には、配管や機器類を腐食させやすい水と、炭酸カルシウムを析出、沈降してスケール（水垢）を形成しやすい水があります。腐食もスケールも形成しない水にするには、次の式のような炭酸塩平衡（カーボネートバランス）状態に近づけることが必要です。

$$CaCO_3+CO_2+H_2O \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

水処理に炭酸塩平衡を応用する方法としては、1936年にアメリカのランゲリアが発表した研究成果が知られています。彼は平衡状態にある水のpHである飽和pH（pHs）の計算用グラフを考案し、腐食あるいはスケール傾向を判定する飽和指数（SI）を提案しました。
その後、他の研究者がランゲリアの計算法に訂正を加え、日本でも1950年台後半より、飽和指数（SI）を求める表が使われるようになりました。

飽和指数（SI）の求め方

pHs（飽和pH）＝（9.3+A+B）－（C+D）

A:蒸発残留物係数　　B:温度係数
C:カルシウム硬度係数　　D:アルカリ度
※A、B、C、Dの各係数は、対象となる水の分析値と、次の換算表から求めます。

SI＝pH（その水の実際のpH）
　　－pHs（飽和pH）

SI＞0　ならスケール形成
SI＜0　なら腐食進行
SI＝0　なら腐食もスケールも進行せず

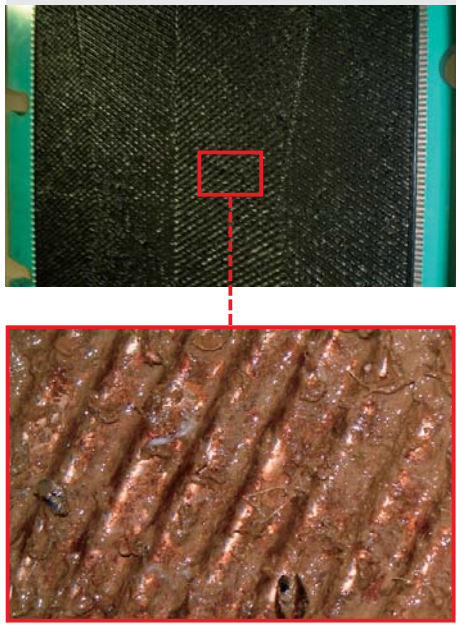
日本には腐食性のあるSI＜0の水が多く、これを改善する方法として、「消石灰注入」、「消石灰・炭酸ガス注入」などが知られています。

A、B、C、Dの換算表

蒸発残留物 mg/l	A	カルシウム硬度 $mgCaCO_3/l$	C	アルカリ度 $mgCaCO_3/l$	D
50～300	0.1	10～11	0.6	10～11	1.0
400～1000	0.2	12～13	0.7	12～13	1.1
		14～17	0.8	14～17	1.2
温度℃	B	18～22	0.9	18～22	1.3
0～1	2.6	23～27	1.0	23～27	1.4
2～6	2.5	28～34	1.1	28～35	1.5
7～9	2.4	35～43	1.2	36～44	1.6
10～13	2.3	44～55	1.3	45～55	1.7
14～17	2.2	56～69	1.4	56～69	1.8
18～21	2.1	70～87	1.5	70～88	1.9
22～27	2.0	88～110	1.6	89～110	2.0
28～31	1.9	111～138	1.7	111～139	2.1
32～37	1.8	139～174	1.8	140～176	2.2
38～43	1.7	175～220	1.9	177～220	2.3
44～50	1.6	230～270	2.0	230～270	2.4
51～56	1.5	280～340	2.1	280～350	2.5
57～63	1.4	350～430	2.2	360～440	2.6
64～71	1.3	440～550	2.3	450～550	2.7
72～81	1.2	560～690	2.4	560～690	2.8
		700～870	2.5	700～880	2.9
		880～1000	2.6	890～1000	3.0

■海水利用による海洋微生物の付着

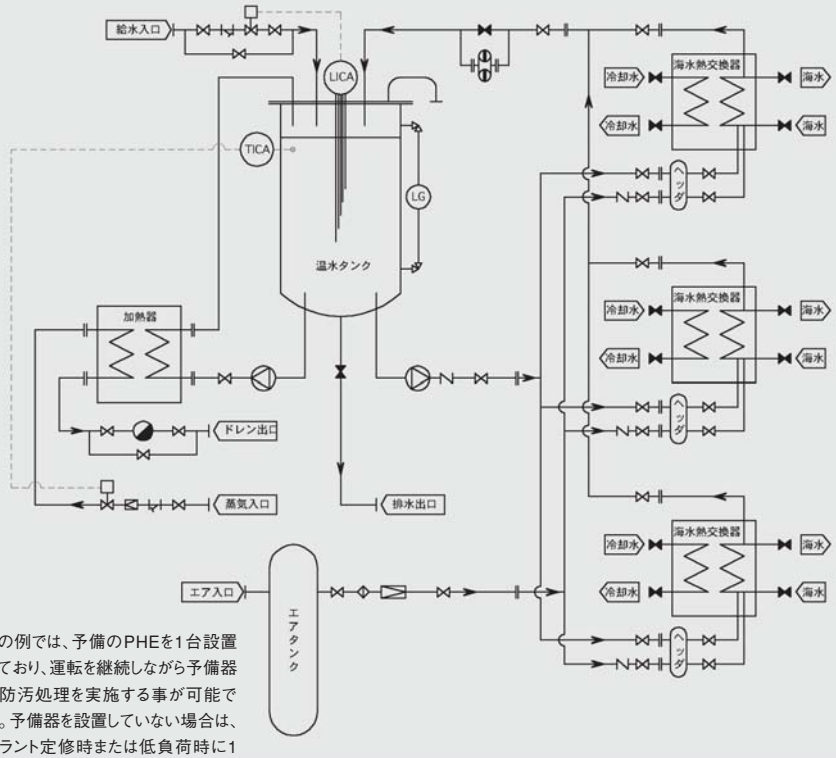
海水を冷却水として使用した場合、ヘドロ、ゴミ、藻などや海洋生物が通路孔や伝熱プレート表裏面に付着、堆積し、海水流量の低下や伝熱性能の低下が生じます。
そのため、多くのプラントでは定期的（年に1回程度）に分解洗浄を実施していますが、これには多くの時間と費用がかかります。そこで日阪では、防汚処理方法として、プレート式熱交換器を休止させて海水を排水し、温水を一定時間循環させる「温水循環」と、最後に圧縮空気を吹き込む「エアバブリング」の組み合わせをおすすめしています。



←プレート伝熱面
ヘドロや海洋生物が付着、堆積して伝熱障害を生じている。

⬆熱交換器　海水入口通路孔
ゴミ、藻、貝類で流路が閉塞し、流動障害を生じている。

防汚処理装置のシステムフロー

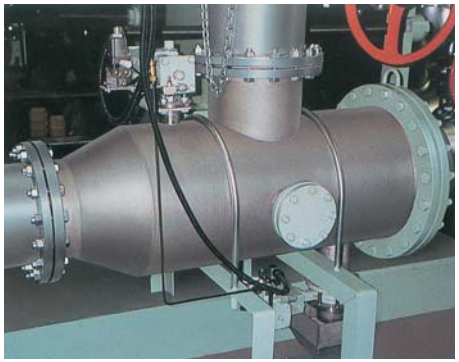


この例では、予備のPHEを1台設置しており、運転を継続しながら予備器の防汚処理を実施する事が可能です。予備器を設置していない場合は、プラント定修時または低負荷時に1台を休止させて防汚処理を行います。

⬆K社Y商業施設

⬆D社I発電所

■海水防塵処理設備機器



使用目的…海水に混ざっている藻、貝類、ゴミなどの異物がプレート式熱交換器に流入しないように除去し、プレート流路入口の閉塞を防ぎます。

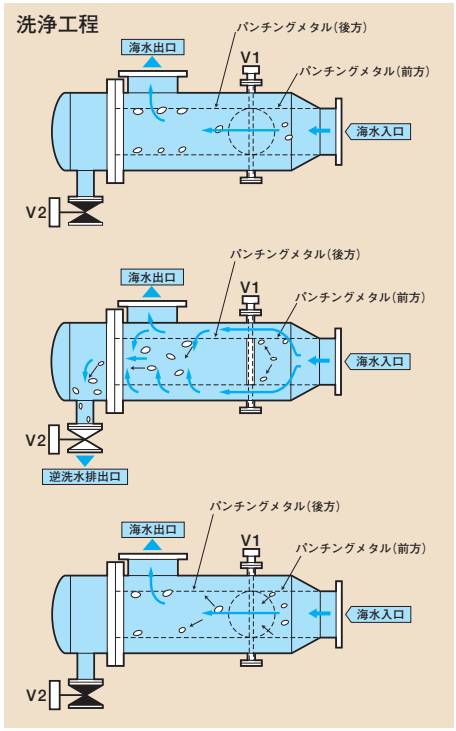
作動原理…フィルタエレメント内の流路を切り替えることにより、異物を逆洗弁から排出します。

特長…(1)差圧及びタイマー設定にて自動的に逆洗を行います。

(2)逆洗水量は通常水量の10%で、運転中の洗浄が可能です。

(3)円筒形パンチングメタルを採用しているため、ろ過面積を大きくとれます。

(4)メンテナンス時のパンチングメタルの分解清掃は、主配管を取り外さずに対応できます。



洗浄工程

❶通常運転…V1全開・V2全閉状態
海水入口ノズルより流入した海水の異物をV1バタフライ弁後方のパンチングメタルゾーンで除去し、清浄海水のみを海水出口ノズルから熱交換器へ送ります。

❷清浄運転…V1全閉・V2全開状態
差圧及びタイマーで、V1は全閉・V2は全開状態になります。バタフライ弁前方のパンチングメタルで異物を除去した清浄海水のみが、海水出口ノズルより流出すると同時に、この清浄海水の一部がバタフライ弁後方のパンチングメタル内面に付着した異物を逆洗し、逆洗水ノズルから排出します。

❸通常運転…V1全開・V2全閉状態
タイマー(逆洗時間:数10秒程度)で通常運転に復帰します。復帰と同時にバタフライ弁前方のパンチングメタルの内面の異物は、バタフライ弁後方のパンチングメタルに移動します。

ストレーナーの目開き推奨値

形式	目開き(mm)
CX-10	2.9以下
EX-11	2.8以下
EX-15	2.9以下
EX-16	2.8以下
UX-005	1.4以下
UX-01	1.8以下
UX-10	1.5以下
UX-20	1.9以下
UX-30	1.8以下
UX-40	2.5以下
UX-60	3.6以下
UX-80	3.3以下
UX-90	3.1以下
UX-100,130	3.1以下
LX-00	2.5以下
LX-10	2.9以下
LX-20	3.6以下
LX-40	4.0以下
LX-30,50	3.3以下

形式	目開き(mm)
RX-00	1.9以下
RX-30	2.1以下
RX-11,19,12	1.8以下
RX-13,18,14	1.9以下
RX-70	2.9以下
RX-90	2.7以下
SX-41,47,44	1.7以下
SX-43,45,49	1.1以下
SX-70	1.5以下
SX-90	2.4以下
GX-20H	3.6以下
GX-20L	8.0以下
GX-20M	4.0以下
WX-13,18,14	1.9以下
WX-11,19,12	3.6以下
WX-50	2.5以下
WX-90	3.1以下
FX-01	1.8以下
FX-03	1.8以下
FX-05	2.7以下
YX-80A/B	1.7/2.0以下

■インナーストレーナー

孔径2～3mmのパンチングメタルタイプのインナーストレーナーです。プレート式熱交換器の流体入口部に挿入し、流体中の異物、ゴミなどを取り除きます。

5-2 プレート腐食

腐食（corrosion）とは、金属がそれを取り囲む環境によって、化学的あるいは電気化学的に侵食されることをいいます。プレート式熱交換器伝熱プレートにはオーステナイト系ステンレス、チタニウムなどの耐食材料を使用していますが、使用条件により腐食をおこすことがあります。

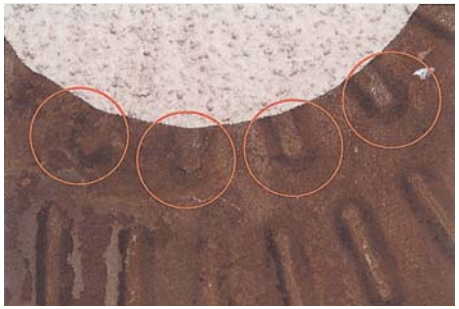
本項では、プレート式熱交換器で過去に発生した事例を取り上げ、対策や運転上の留意点などを具体的にご紹介します。

■全面腐食

ステンレス鋼に代表される耐食金属には、表面に不動態皮膜という安定した酸化皮膜が形成されています。ステンレス鋼の場合、水和オキシ水酸化クロムという化合物が均一で薄い化学的に安定な膜を形成し、耐食性を保っています。全面腐食では、この不動態皮膜が形成されない状態で腐食が進行するので、全面にわたって均一に進行し、表面は金属光沢を失って肌荒れした状態が観察できます。

<事例>

- 使用期間……約8年
- プレート材質…SUS316
- 使用流体……クロム酸系めっき液/冷却水
- 使用温度……30℃
- 原因……母材が非耐食性
- 対策……約8年の使用実績があり、現時点では使用可能ですが、プレートの肉厚を上げる、材質を完全耐食であるチタニウムに変更するなどの処置が必要です。材料は、腐食速度＜0.1mm/yearで選定することを目安とします。



メッキ液通路孔 拡大

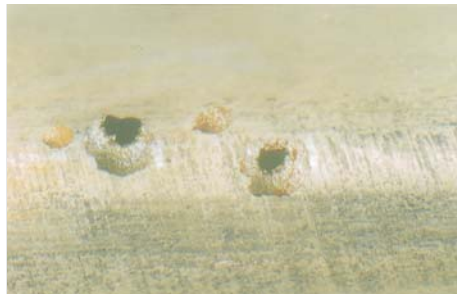
メッキ液通路孔

■孔食

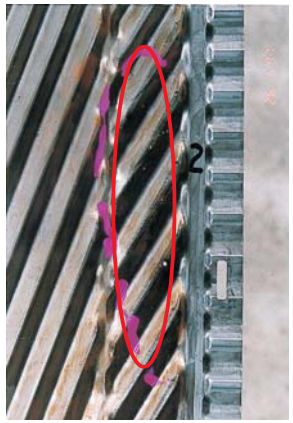
ステンレス鋼を代表する局部腐食です。金属表面の不動態皮膜を破壊するハロゲンイオン（主にCl^-）の存在下で点状、あるいは虫食い状に観察されます。孔内では金属イオンが原子として溶出し、液中のCl^-を引き寄せて濃縮。さらに金属イオンが加水分解して孔内を塩酸酸性にし、腐食が進行していきます。

<事例1>

- 使用期間……約1年
- プレート材質……SUS304
- 使用流体……エンジン循環冷却水/冷却水
- 使用温度……90℃
- 原因……循環水のCl^-イオン濃度は50ppmで腐食を発生させる濃度ではありませんが、局部的な濃縮や、付着したスケール下で腐食が進行したと推定できます。
- 対策……鋼種グレードを、Cr量を増加しMoを添加したSUS316などへ変更することが必要です。また、定期的な分解点検を実施し、スケールの除去による不動態皮膜の再生と使用流体の水質管理を推奨します。

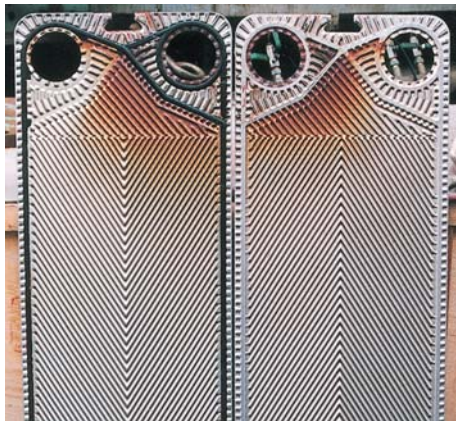


腐食部拡大写真

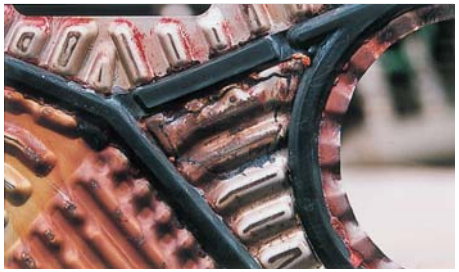


<事例2>

- 使用期間……約5年
- プレート材質……SUS304
- 使用流体……スチーム/市水
- 使用温度……140℃
- 現象……ガスケットの劣化によるスチーム側プレート肩部からの微量なにじみ漏れが2重シール部に侵入し、腐食因子であるCl⁻イオンの濃縮にともないプレートが貫通。2重シール部裏面で、市水の外部漏れが確認されました。
- 原因……ガスケットからの微量な液漏れをそのまま放置しておいたために発生したCl⁻イオン濃縮による二次的な孔食です。
- 対策……ガスケットを定期的に交換すると同時に、使用するプレート材質をSUS316へ変更するなどの対策が考えられます。

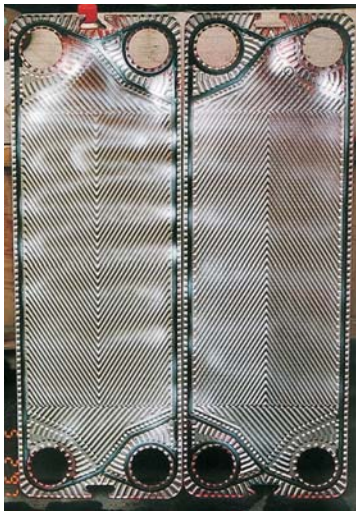


⬆スチーム側プレート外観写真



⬆発錆下で応力腐食割（後述）も発生

⬆カラーチェックの現像液の赤色箇所で貫通割れ

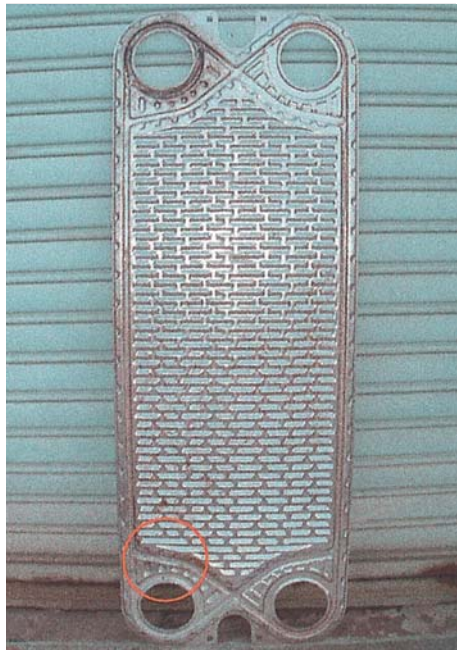


■隙間腐食

孔食と同様、ステンレス鋼を代表する腐食形態で、プレート式熱交換器の場合にも、孔食と並んで発生頻度の多い事例です。構造上隙間が発生する部位や、ガスケットシール面、沈殿物などの隙間で発生する腐食で、発生のメカニズムは孔食とよく似ています。隙間内では溶存酸素が不足しがちな環境となるため、時間の経過にともない不動態皮膜が破壊され、腐食が進行します。

<事例>

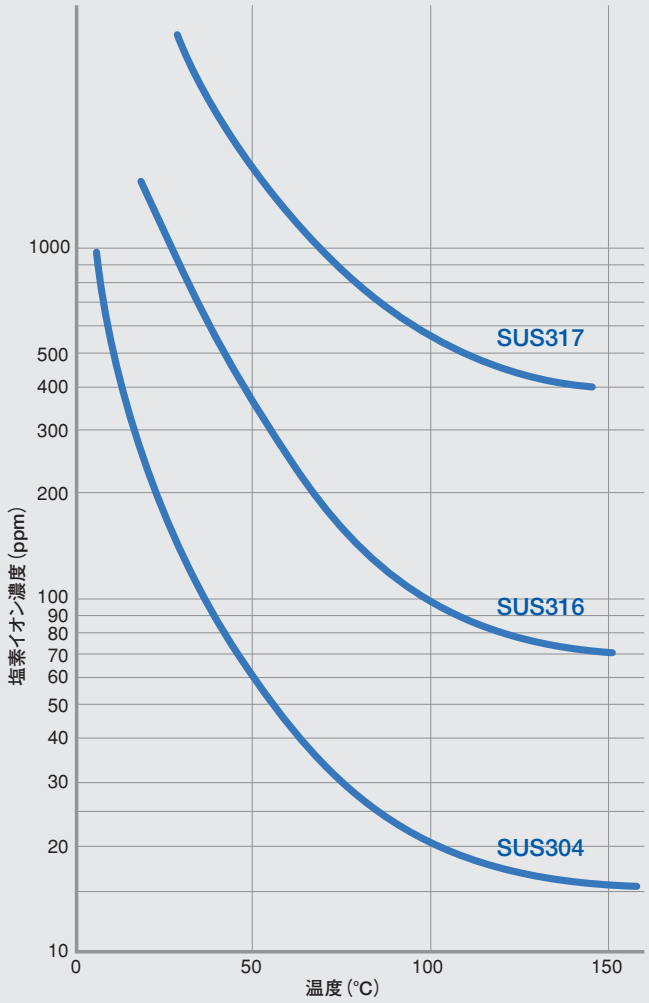
- 使用期間……約6ヶ月
- プレート材質……Carpenter20相当
- 使用流体……98%硫酸/循環冷却水
- 使用温度……60℃
- 原因……冷却水側のガスケットとプレートとの隙間部において腐食因子であるCl⁻イオン濃度が高いことが認められました。さらに本事例では冷却水がプレート貫通孔から98%硫酸側へ混入したことによる急激な濃度変化を2次的要因としてプレートを全面腐食にいたらしめました。
- 対策……プレート材質をHastelloyC相当へ変更し、冷却水のCl⁻イオン濃度が上昇しないような改善と管理が必要です。



⬆冷水側プレート全体写真

⬆冷水側プレート表面の拡大写真

ステンレス鋼の一般的な耐隙間腐食曲線



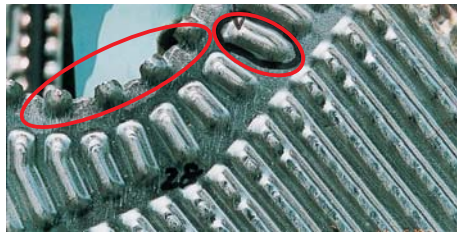
■ステンレス鋼の耐隙間腐食性

オーステナイト系ステンレスの腐食形態として観察される隙間腐食、孔食の主な要因として上げられるのが水中に含まれるCl^-（塩素イオン）濃度です。使用する流体のCl^-濃度があらかじめ判っている場合には、本表を材質選定の参考としてご使用下さい。

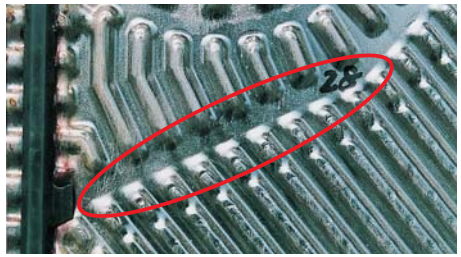
例）Cl^-イオン濃度が100ppm以下で、最高温度が40℃の冷却水の場合SUS304ではやや耐食性に心配があるので材質としてはSUS316を選定します。

■エロージョン・コロージョン

流体中のスラリーなどの連続的な衝突により金属表面の皮膜が剥ぎ取られ、その部分が局部的に深く侵食される型の腐食を、エロージョン・コロージョンといいます。一般的に、配管の絞り部、曲がり部など、局所的に流速が大きくなる箇所に発生しやすく、その進み方は、金属や流体の種類、温度、流体の流れの状態などによって異なります。



⬆激しい全面腐食で板厚減少大



⬆プレート当たり点・接触部近傍の隙間部にエロージョン・コロージョン発生

＜事例＞

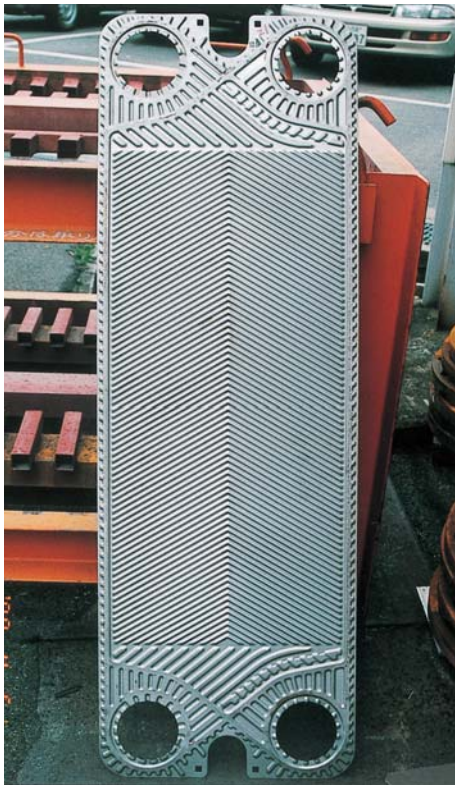
- ●使用期間……約4年
- ●プレート材質……TP270（Ti）
- ●使用流体……20%NaOH/工業用水
- ●使用温度……30℃
- ●現象……20%NaOHの液接面に、激しい全面腐食、貫通孔、液漏れが確認されました。
- ●原因……プレート同士の当たり点、接触面の周囲に特に激しくえぐられたようなエロージョン・コロージョンが認められ、腐食状態からエロージョン・コロージョンが進行したと考えられます。
- ●対策……プレート増枚による流速の抑制、ならびに想定されるスラリー分の除去をおこなうとともに、プレート自体の板厚をより厚いものに更新する方法があります。また母材の耐食性の確認も必要となります。

■応力腐食割れ

材料に外部応力が作用したり内部応力が存在するために、金属の腐食を起点として、割れを生じる現象です。応力が作用している部分には、表面皮膜の破壊、原子の移動、空孔などが発生しやすく、その部分が腐食環境にさらされると優先的に腐食が進行します。腐食は応力によって加速されてさらに進行し、割れや破壊にいたります。

<事例1>

- 使用期間……約2年
- プレート材質……SUS304
- 使用流体……1次水/2次水
- 使用温度……90℃
- 現象……ガスケットの裏面に発錆があり、ガスケットシールラインに割れが発生しています。
- 原因……水質中の塩化物イオンが高い温度条件にさらされ、流速の遅いガスケット部位で濃縮され、プレートが加速度的に腐食されたと考えられます。割れの形態は、発錆、割れの枝状の分岐状態から判断して、応力腐食割れだと言えます。
- 対策……伝面部でも腐食が発生していることから、本水質に対してSUS304では耐食性に不安があることが推測されます。耐塩素（塩化物）材質であるモリブデン添加のSUS316への材質変更を推奨します。



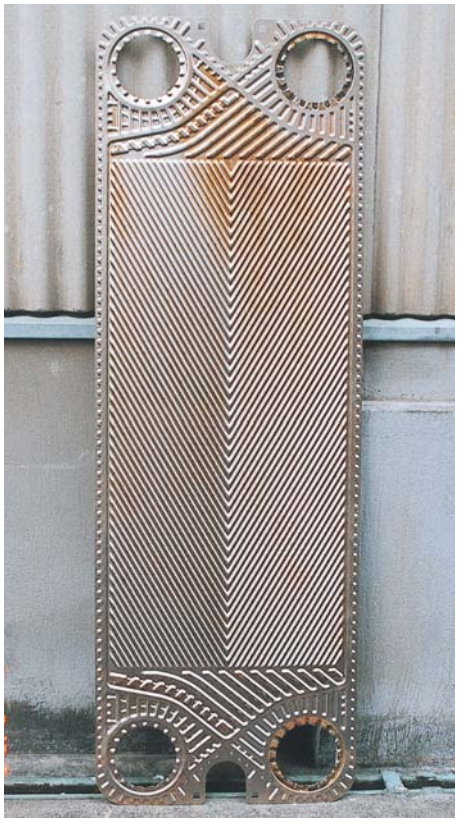
⬆プレート全体写真

⬅ガスケット溝部での割れ

<事例2>

- 使用期間……約3年7ヶ月
- プレート材質……TP270
- 使用流体……混合有機ベーパー/エチレングリコール
- 使用温度……99℃
- 現象……プレートにクラックが発生し、漏れが確認されました。
- 原因……混合有機ベーパー（トルエン、メタノール、アセトン等）の凝縮器として使用。ベーパー中のメタノールに起因するクラックが生じ、応力腐食割れが発生したと考えられます。
- 対策……メタノールに対してはオーステナイト系ステンレス鋼の適用が適正です。SUS316への鋼種変更を推奨します。

⬆ベーパー側プレート拡大写真

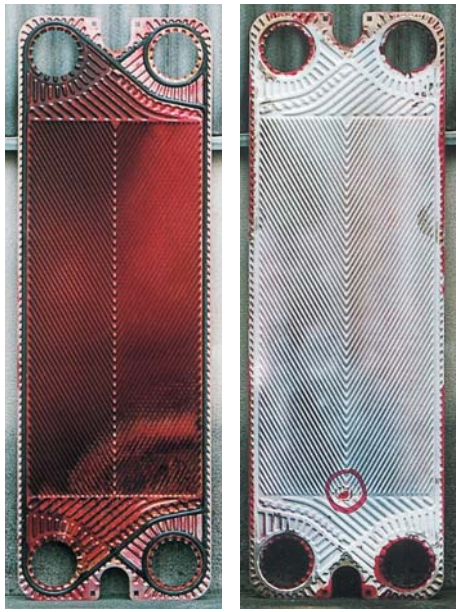


⬆ベーパー側プレート全体写真

5-3 その他のトラブル

■疲労割れ

材料がある力をくり返し受けることによって破壊する現象。通常では破壊をおこさないような低い負荷でも、繰り返し与えることによって局部的な塑性変形（外力をのぞいても元にもどらない変形）が生じ、小さな亀裂が進展して全体的破壊にいたります。



⬆スチーム側プレート全体写真（左）
液媒油側プレート全体写真（右）

<事例>

- ●使用期間……約13年8ヶ月
- ●プレート材質……SUS316
- ●使用流体……スチーム/熱媒油
- ●使用温度……130℃
- ●現象……定期的にブラインと熱媒油を流して使用していたところ、ブラインと熱媒油の二液混合が発生。5枚のプレートにおいて、プレート下部の伝熱面中央部先端近辺に割れが確認されました。
- ●原因……プレートに腐食の痕跡がないこと、割れの位置がすべて同じであること、応力集中や負荷が大きい位置であることなどから推定して、疲労割れが原因だと考えられます。
- ●対策……本器は長期にわたって使用されていたため、疲労割れが発生したと考えられます。プレートの強度を上げるためより板厚の厚いプレートに更新します。

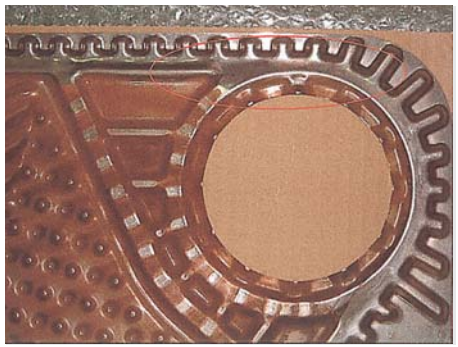
⬆割れ部拡大

■プレート変形

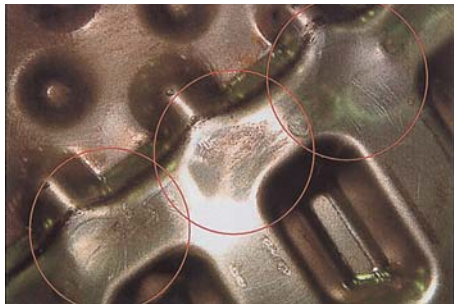
プレート変形の主な原因は、過度の締め付け、ガスケット膨潤などがありますが、その他に水撃作用（ウォータハンマー）によって発生するケースがあります。水撃作用とは、水圧管内水流を急に締め切った時に、水流の慣性で管内に衝撃・振動水圧が発生する現象で、プレート式熱交換器の場合、ポンプの起動、停止やバルブの開閉が速すぎるために発生。ガスケット溝周辺やプレート表面上の接触点を変形させるなど、深刻なトラブルをおこすことがあります。

<事例>

- ●使用期間……約13年4ヶ月
- ●プレート材質……SUS316
- ●使用流体……0.2MPaGスチーム/温水
- ●使用温度……170℃
- ●現象……温水側プレートのガスケット溝に変形が確認されました。
- ●原因……腐食や応力集中などが見られないため、水撃作用が原因だと考えられます。
- ●対策……この状態のままではガスケットが圧縮されずシールできません。プレートは再使用不可と判断されたため、全数交換をおこないました。また運転方法の見直しにより水撃作用を回避する対策が必要です。



⬅通路孔部（プレート裏面より）大きく変形しているのがわかる



⬅2重シール部が（プレート裏面より）凹んでいるのがわかる

6—点検作業のポイント

プレート式熱交換器を長く安心してお使いいただくためには、状況の変化を見逃さないことが大切です。以下に、主なトラブルとその原因をまとめました。このような状況が確認された場合は、製造番号をご確認のうえ、弊社にご相談ください。

トラブル

- **性能低下**
  - **❶ 伝熱性能**
    伝熱面にスケールが付着していると考えられます。プレートを洗浄してスケールを除去する必要があります。
  - **❷ 流動性能**
    通路孔部の詰まり、伝熱面の汚れなどが考えられます。プレートを洗浄してスケールを除去する必要があります。
- **液洩れ**
  - **❸ プレート間から**
    締め付け不足、ガスケットの損傷劣化、プレートのガスケット溝または二重シール部の腐食、プレートABの並び方、上下の組込み間違い、ガスケットのシール面の固形物のかみこみ、ガスケットのころび、のり上げなどが考えられます。それぞれ是正、交換が必要です。
  - **❹ Sフレームから**
    Dプレートガスケット、ゴムブーツ、Dプレート、Sノズル取付部などの損傷が考えられます。損傷した部品を交換してください。
  - **❺ Eフレームから**
    Eノズルガスケット、Eノズル取付部、ゴムブーツの損傷、Eプレートの破損などが考えられます。損傷した部品を交換してください。
- **❻ 2液混合**
  中間プレートが腐食または損傷し貫通していることが考えられます。損傷したプレートを交換してください。

7—熱交換器を長期にご使用いただくために

メンテナンスの容易さは、プレート式熱交換器の大きなメリットのひとつです。締め付けボルトをはずすだけですぐに分解でき、開放されたプレートは目視で点検ができます。しかし、小さな腐食やピンホールを発見したり、薄いプレートに傷をつけずにしつこいスケールを隅々まできれいにするには、熟練した技術が必要です。
日阪製作所は、「安心」と「信頼」のメンテナンスサービスを提供するテクニカルサポーターとして、皆様がプレート式熱交換器をできるだけ長くお使いいただけるよう、お手伝いさせていただきます。メンテナンスはぜひ、日阪製作所におまかせください。

メンテナンスに関する詳しい情報は、ホームページの熱交換器事業本部「製品・用途紹介」内の**メンテナンスサービス**と「WEBサービス」内の**FAQ・トラブルシューティング**でもご確認いただけます。
http://www.hisaka.co.jp/